PRODUCTION PARTNER

Czasopismo branży obsługi multimedialnej

Test
z wydania 4/2016

Wzmacniacz z wbudowanym DSP

Linea Research 44M20

Czterokanałowa końcówka wysokiej mocy Linea Research z systemem DSP

Tekst i pomiary: Anselm Goertz | Zdjęcia: Dieter Stork

Wszystkie nowości na temat technik medialnych i obsługi eventów
powered by PRODUCTION PARTNER

»... Prezentując nową serię M renomowany angielski producent Linea Research wprowadza na rynek sześć nowych modeli wzmacniaczy, których pod wieloma względami nie należy lekceważyć...«

Angielski producent Linea Research już od dawna odgrywa istotną rolę jako dostawca OEM-owych kontrolerów, końcówek mocy i modułów elektronicznych w branży pro audio. Serie 44M i 48M to kolejne końcówki mocy wprowadzane obecnie na rynek bezpośrednio pod własną marką. Tak jak to sugerują już same oznaczenia typu, chodzi tu o stopnie wyjściowe posiadające po cztery kanały wejściowe i cztery (44M) lub osiem (48M) wyjść. Druga część oznaczenia - M3, M6, M10 lub M20 – określa maksymalną moc wyjściową sumarycznie dla wszystkich kanałów. Udostępnionym do testu urządzeniem jest model 44M20, czyli stopień wyjściowy o największej mocy w serii. Jeśli kogoś trochę zdziwi deklarowane 20 kW mocy wyjściowej i jednofazowe zasilanie sieciowe 32 A, które działa także w sieci 115 V, wyjaśnienie szybko znajdzie w specyfikacji: moc 5 kW na kanał wzmacniacz oferuje przy sygnałach o współczynniku szczytu (crest factor) 12 dB jako tak zwaną krótkoterminową moc RMS, co oznacza, że wartość średnia dla dłuższego odcinka czasu jest pomniejszona o współczynnik 8. Także przy nieco większej kompresji i zagęszczeniu sygnału uzyskuje się pobór mocy z sieci elektrycznej rzędu 3,6 kW. Przez krótki czas w przypadku bezpieczników C tak czy inaczej możliwe jest pobieranie znacznie wyższych prądów niż wartość wyzwalająca 16 A.

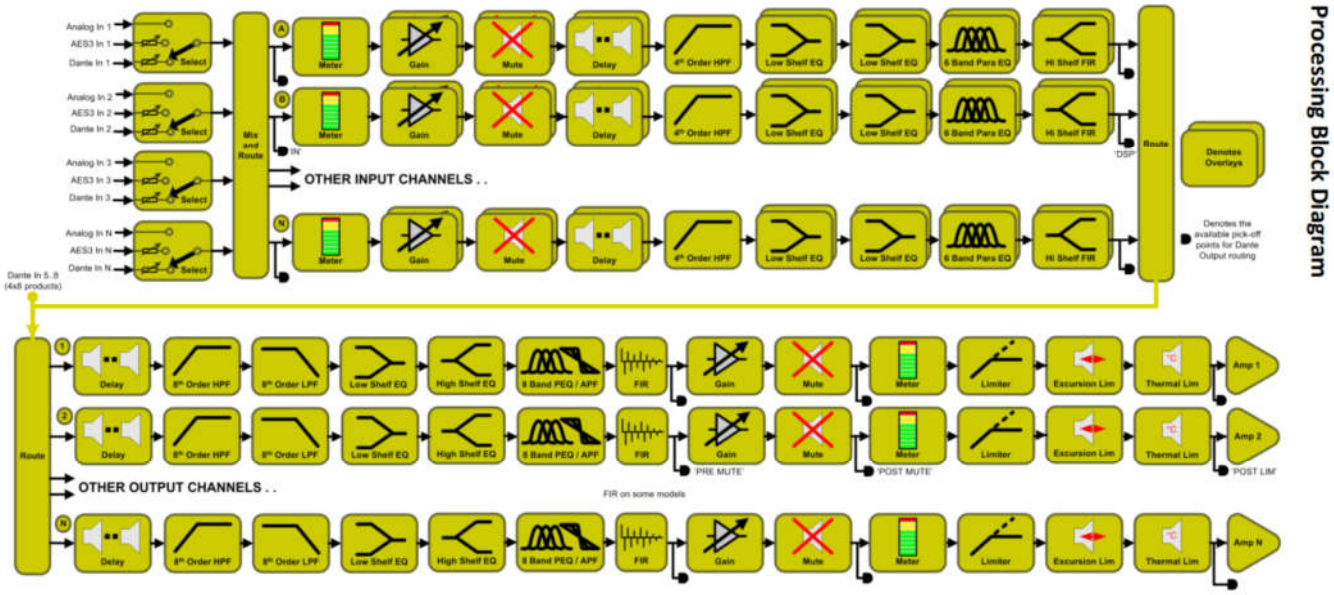
Wszystkie końcówki mocy LR serii M są wyposażone w system DSP, który można dziś już określić niemal standardem. Konfiguracja, podobnie jak zdalne monitorowanie stopnia wyjściowego, następuje poprzez sieć ethernet. Jeśli ktoś chciałby podać sygnał audio poprzez sieć, do dyspozycji jest opcjonalne złącze Dante, które dziś także stało się rozwiązaniem mniej lub bardziej standardowym.

Budowa Linea Research 44M20

Już jeden rzut oka na przedni panel urządzenia wystarczy, aby bez problemu zidentyfikować docelową grupę użytkowników. Przy pomocy wyświetlacza, sześciu przycisków i dwóch enkoderów obrotowych można tu regulować wszystkie parametry systemu DSP i stopnia wyjściowego także bezpośrednio na urządzeniu. Przy zastosowaniach w instalacjach mobilnych taka opcja jest często pożądana, ponieważ w razie komplikacji można zaingerować bezpośrednio w celu skontrolowania lub zmiany parametrów. Ponadto na przodzie znajduje się także przycisk wyciszania dla wyjść, detal równie przydatny, co istotny i pozwalający na szybkie przetestowanie poszczególnych pasm. Diody wysterowania, obecności sygnału i clip przewidziano dla wszystkich wejść i wyjść. Wentylacja zasysa chłodne powietrze przez filtr przeciwpyłowy na panelu przednim, którego wylot znajduje się na panelu tylnym. Na odwrocie znajdują się cztery gniazda Speakon dla wyjść, gniazda XLR ze złączami „link“ oraz seryjne cyfrowe wejście w formacie AES3, również ze złączem "link“. Kolejnymi złączami są gniazdo sieciowe, port Aux oraz trzy piny dla przekaźnika błędów. Jeśli zainstalowana jest opcjonalne Dante (z modułem Brooklyn), dochodzą do tego dodatkowo dwa złącza sieciowe dla sieci Dante pierwotnej i wtórnej.

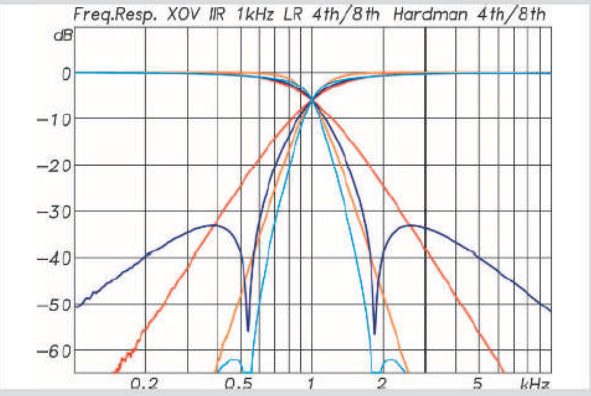
Obróbka sygnału i oprogramowanie

Oczekiwania wobec DSP są oczywiście wysokie, ponieważ Linea Research już od lat należy do wiodących producentów oferujących kontrolery DSP. Jak pokazuje schemat blokowy, w żadnym razie nie ograniczano się w kwestii ilości dostępnych funkcji.

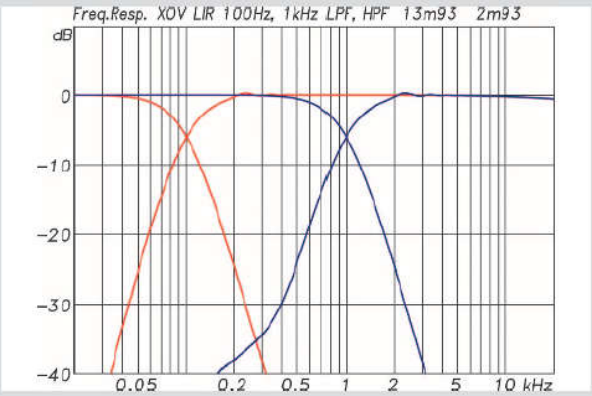


Wrażenie robi nie tylko sama liczba funkcji i filtrów, lecz także kilka niezwykle ciekawych rozwiązań, takich jak filtr półkowy FIR, filtr Hardmana i funkcje crossovera o fazie liniowej. Widoczna jest także duża szczegółowość wykonania bloków limiterów i krosownica sygnałów. Rodzaj sygnału na wejściu można wybrać osobno dla czterech sygnałów wejściowych – analogowy, AES3 i Dante. Następnie każde z czterech rozgałęzień DSP może wybrać spośród takich czterech sygnałów wejściowych lub także dwóch sumarycznych sygnałów. Po stronie stopni wyjściowych ponownie mamy wybór, z których rozgałęzień DSP będą one pobierać swój sygnał.

Crossover: wybór właściwego typu filtra



Różne typy filtrów *dla funkcji crossovera. W kolorze czerwonym i pomarańczowym klasyczne filtry Linkwitz-Riley'a czwartego i ósmego rzędu. W kolorze granatowym i jasnoniebieskim raczej rzadko spotykany filtr Hardmana, również czwartego i ósmego rzędu*



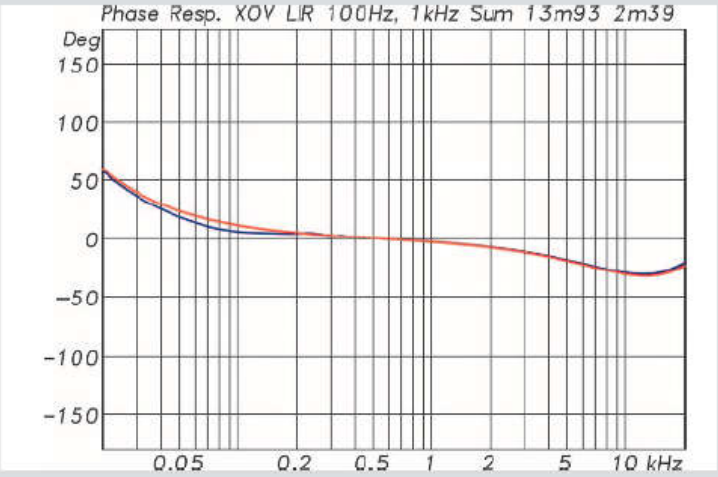
Filtr LIR o fazie liniowej *jako crossover z latencją całkowitą 13,93 ms przy częstotliwości 100 Hz (czerwony) i 2,93 ms przy 1 kHz (niebieski); latencja całkowita stopnia wyjściowego bez filtra w obu przypadkach ma wartość 1,53 ms*

Jako crossovery i filtry zmiany częstotliwości stosowane są dobrze znane typy filtrów: Bessela, Butterwortha i Linkwitza-Riley'a. Filtry Linkwitza-Riley'a (LR) są typowe dla rozgraniczania pomiędzy głośnikami średnio- i wysokotonowymi, a filtry Butterwortha (BW) dla odcięcia subwooferów. BW oferuje stałe spektrum mocy akustycznej, a LR stały przebieg poziomu. Filtry Bessela stosowane są dość rzadko, lecz mimo to można je znaleźć niemal w każdym menu wyboru. Specjalnością Linea Research są tak zwane filtry Hardmana, które zachowują się podobnie jak filtry Linkwitza-Riley'a w połączeniu z bardziej stromym początkowym

nachyleniem charakterystyki. Później, z dala od częstotliwości rozgraniczającej, przebieg jest już mniej nachylony niż porównywalnego filtra L-R o porównywalnym rzędzie.

Grafika przedstawiająca charakterystyki częstotliwościowe pokazuje tutaj przykłady filtrów L-R i Hardmana czwartego i ósmego rzędu. Filtry ósmego rzędu są jednak raczej nietypowe i powinny być stosowane tylko wówczas, gdy urządzenia bezwzględnie wymagają tak ekstremalnego nachylenia. Towarzyszące temu silne obracanie się fazy (720°) w stosunkowo wąskim zakresie częstotliwości powoduje odpowiednie zniekształcenia związane z opóźnieniem grupowym. Próby odsłuchowe wykazały, że są one już dobrze słyszalne.

Tym samym dotarliśmy bezpośrednio do filtrów o liniowej fazie: w Linea Research postawiono na lekko zmodyfikowany typ filtra FIR i nazwano go filtrem „LIR“ (Linear Impulse Response). Przewaga nad typowymi filtrami FIR ma polegać na niższej latencji i unikaniu tak zwanego efektu „pre-ringing“, czyli echa wyprzedzającego (które występuje jednak już tylko przy suboptymalnych metodach projektowania dla filtrów FIR). Filtr „LIR" jest jednak także „czymś innym niż FIR", i dział marketingu z pewnością docenia obecność tak unikalnego parametru. Nasze dwa przykłady przedstawiają filtry LIR crossovera przy częstotliwościach 100 Hz i 1 kHz. Nachylenie charakterystyki wynosi od 20 do 24 dB/oktawę i odpowiada tym samym mniej więcej typowym filtrom czwartego rzędu. Im niższa jest wartość częstotliwości rozgraniczającej filtra, tym większa musi być długość jego odpowiedzi impulsowej, co w przypadku filtra o fazie liniowej (i tylko wówczas!) określa latencję filtra. Filtry LIR powodują opóźnienie wynoszące co najmniej 1,19 ms z tendencją rosnącą przy niższych częstotliwościach skrajnych użytkowego pasma przepustowego. Wartość ta ograniczona jest do 30 ms. Filtry z przykładu idą w parze z opóźnieniem wynoszącym 1,4 ms dla częstotliwości 1 kHz i 12,4 ms dla 100 Hz. To, jakie opóźnienie w danym przypadku może być wykorzystywane, zależy w pierwszym rzędzie od rodzaju zastosowania. W przypadku monitorów estradowych górną granicę będzie zapewne stanowić już 10 ms, w przypadku systemu PA na dużej scenie można zaakceptować także 30 ms. Rozważając kwestię opóźnienia nie należy jednak zapominać, że różne inne komponenty na drodze sygnału także powodują jego opóźnienia.

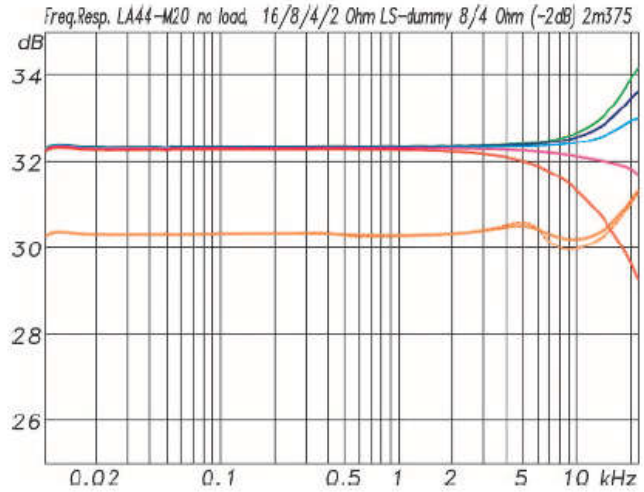


Charakterystyka fazowa funkcji sumarycznych *dla filtra LIR crossovera przy 100 Hz (czerwona) i przy 1 kHz (niebieska) wraz z filtrem górno-/dolnoprzepustowym stopnia wyjściowego*

Jeśli utworzyć funkcję sumaryczną z odpowiadających sobie filtrów górno- i dolnoprzepustowych, w przypadku filtrów LIR powstaje całkowicie prosta charakterystyka przy wartości 0 dB. Dodatkowe charakterystyki fazowe do funkcji sumarycznych pokazano na załączonej grafice. Pozostająca jeszcze końcowa rotacja faz na górnym i dolnym końcu zakresu przenoszenia sama w sobie wynika z właściwości filtrów górno- i dolnoprzepustowych stopnia wyjściowego i nie pozostaje w zależności od filtrów crossovera. Na stronie internetowej Linea Research w sekcji „white papers” można znaleźć także obszerny raport autorstwa Paula Williamsa na temat filtrów crossovera.

Wyniki pomiarów

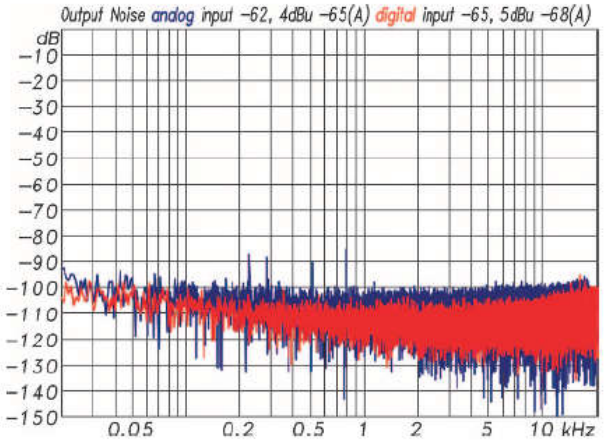
Wzmocnienie stopni wyjściowych wynosi nieco ponad 32 dB. Dla maksymalnego napięcia wyjściowego wynoszącego 154 V_s lub 109 V_{eff}, co odpowiada 43 dBu, wymagane jest zatem napięcie wejściowe 11 dBu. Charakterystyki częstotliwości stopnia wyjściowego w zależności od obciążenia znajdują się na Rys. 1.



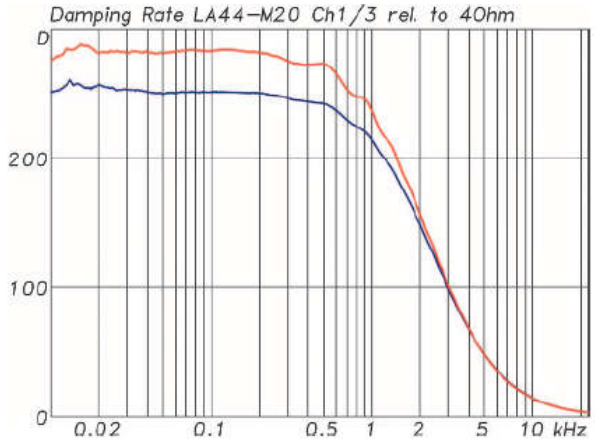
Charakterystyka częstotliwości *przy obciążeniu 2Ω (czerwona), 4Ω (różowa), 8Ω (jasnoniebieska) i 16Ω (granatowa) oraz przy 4Ω lub 8Ω obciążeniu zastępczym głośnika (pomarańczowa przedstawiona z przesunięciem o -1 dB), zielona krzywa bez obciążenia (Rys. 1).*

W kierunku wyższych częstotliwości widoczne jest działanie dolnoprzepustowych filtrów wyjściowych, które zależnie od obciążenia są bardziej lub mniej zauważalne. W pomiarze z obciążeniem zastępczym głośnika jego przebieg impedancji znajduje nieznaczne odzwierciedlenie w charakterystyce częstotliwości. Aby nieco skompensować efekt filtra dolnoprzepustowego na wyjściach, stopień wyjściowy bez obciążenia generuje lekkie uwypuklenie wyższych tonów. Przy obciążeniu 4 Ω poziom przy 20 kHz obniża się zatem tylko o 0,3 dB w odniesieniu do średniej.

Poziom zakłóceń na wyjściu 44M20 zależnie od rodzaju wejścia (analogowego lub cyfrowego) wynosi -62,4 dBu lub -65,5 dBu przy ważeniu liniowym od 20Hz do 20kHz. W stosunku do maksymalnego napięcia wyjściowego 43 dBu uzyskuje się w ten sposób dynamikę rzędu 105 lub 108 dB dla wejść analogowych lub cyfrowych. Przy pomiarach częstotliwości wg krzywej ważonej A wartości polepszają się o ok. 2,5 dB. Tym samym wartości nie w pełni osiągają deklarowane w specyfikacji parametry 113 dB w ważeniu A.



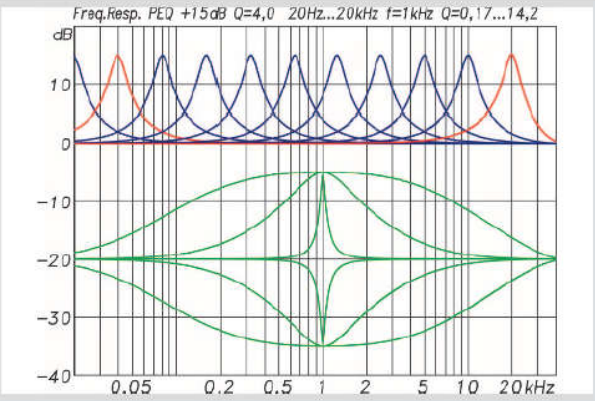
Spektrum zakłóceń *na wyjściu z wejściem analogowym (czerwony) -62,4 dBU i z wejściem cyfrowym (niebieski) -65,5 dBu(A) (Rys. 2)*

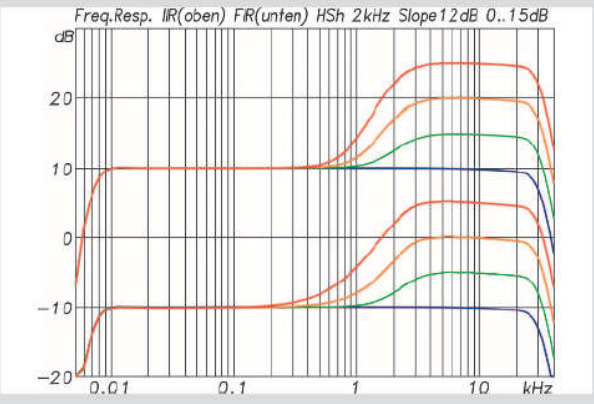


Współczynnik tłumienia (Damping Factor) *przykładowo dla kanałów 1 i 3 w zależności od częstotliwości w odniesieniu do obciążenia 4 Ω; przy odniesieniu wartości do 8 Ω, ulegają one podwojeniu (Rys. 3)*

W specyfikacji nie podano żadnej informacji o współczynniku tłumienia *(wyjaśnienie Bena Vera dlaczego nie powinniście się przejmować wartością tego współczynnika znajdziecie tutaj: https://linea-research.co.uk/wp-content/uploads/LR%20Download%20Assets/Tech%20Docs/Damping%20factor%20debunked%20-01a.pdf)*
Laboratoryjnie ustalono wartości pomiarowe wyraźnie powyżej 200 przy 100Hz i przy 1kHz w odniesieniu do obciążenia 4Ω. W odniesieniu do 8Ω wartości te ulegają ponownie podwojeniu. W kierunku wyższych częstotliwości współczynnik tłumienia jednak obniża się w taki sposób, że przy 2 kHz nadal osiągana jest wartość 150, a przy 10kHz wartość 15.

Spójne czoło fali akustycznej: jakie narzędzia są potrzebne aby je osiągnąć?





Klasyczne filtry o charakterystyce dzwonowej (bell) *o szerokim zakresie regulacji i prawidłowej kompensacji częstotliwości*

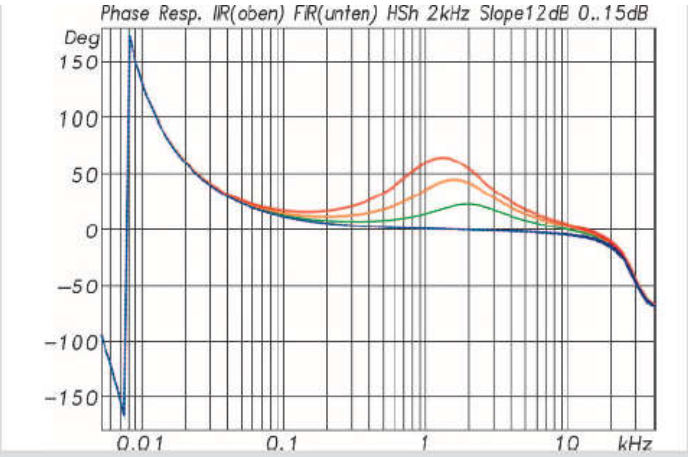
IIR i FIR *filtry typu „high shelf“ przykładowo przy 2 kHz o nachyleniu 12 dB – na górze jako filtr IIR, a na dole jako filtr FIR: nie ma prawie żadnej różnicy w amplitudzie*

Oprócz filtrów crossovera w obróbce sygnału Linea Research w każdym z czterech rozgałęzień wejściowych występuje dodatkowo po sześć filtrów o charakterystyce dzwonowej i po jednym filtrze typu "high shelf“ i „low shelf“. Na wyjściach umieszczono ponownie po osiem filtrów o charakterystyce dzwonowej i raz jeszcze po jednym filtrze typu „high shelf“ i „low shelf“. Dlaczego filtry te potrzebne są i na wejściach, i na wyjściach? Do regulacji systemu wielokanałowego filtry umieszczane są w pierwszym rzędzie na wyjściach, aby skorygować poszczególne kanały i dostroić do pożądanej charakterystyki częstotliwości. Następnie dostosowuje się do siebie poziomy i opóźnienia, względnie charakterystyki faz sąsiednich kanałów. W kolejnym kroku można ustawić filtry crossovera, czyli filtry górno- i dolnoprzepustowe. Po tym etapie głośnik jest w zasadzie dostrojony. Aby następnie dokonać dodatkowo zmian całkowitej charakterystyki częstotliwości, wówczas należy to robić koniecznie na wejściach i do tego potrzebny jest na nich blok filtrów. Jeśli takie filtry zostałyby ustawione na wyjściach, wówczas dostrojony wcześniej już w całości system ponownie uległby rozstrojeniu (lub konieczne byłoby wielokrotne ustawianie filtrów na wszystkich wyjściach).

W przypadku typowych filtrów IIR, które stosowane są jako filtry o charakterystyce dzwonowej i filtry typu „shelf“, występuje znany problem odkształcenia krzywych w pobliżu połowy częstotliwości próbkowania. Ważne, aby odróżnić tu, że nie chodzi dosłownie o zniekształcenia sygnału, lecz jedynie o odkształcenie krzywej filtra. Filtr nie staje się przez to lepszy ani gorszy, lecz po prostu odmienny w swojej charakterystyce. Dla filtrów IIR oznacza to, że różnią się one od swojego analogowego odpowiednika i brzmią inaczej czy też nietypowo. Efekt ten można obejść lub zredukować na różne sposoby. Można zwiększyć częstotliwość próbkowania, co sprawia, że zjawisko to występuje dopiero powyżej zakresu słyszalnego lub można skompensować charakterystykę filtra. Ostatnia możliwość dostępna jest naturalnie tylko do momentu na krótko przed osiągnięciem połowy częstotliwości próbkowania. Jak można dostrzec na krzywych filtrów o charakterystyce dzwonowej w górnej części grafiki, w przypadku DSP Linea Research zgodnie z oczekiwaniami nie widać odkształcenia krzywej. DSP pracuje przy 96 kHz, a krzywe przypuszczalnie są także dodatkowo skompensowane.

Oprócz typowych filtrów IIR typu „shelf“ w kanałach wejściowych DSP zastosowano dodatkowo także filtr FIR typu „high shelf“. Tu obowiązuje to samo, co w przypadku wszystkich innych filtrów: filtr wykonany jako FIR może zostać ukształtowany jako filtr o fazie liniowej. W przypadku filtra typu „high shelf“ z dolną częstotliwością skrajną użytkowego pasma przepustowego wynoszącą 2 kHz jest to wręcz szczególnie łatwe, tzn. przy bardzo krótkiej latencji, która deklarowana jest tu jako 0,6 ms. Jeśli taki filtr zostanie aktywowany na jednym z wejść, wówczas także wszystkie pozostałe drogi wejściowe zostają zasilone przy tych 0,6 ms, a tym samym system pozostaje wzajemnie dostrojony.

Grafika przedstawia charakterystyki częstotliwości filtra FIR typu "shelf" (na dole) w porównaniu do filtrów IIR typu "shelf“ na górze dla uwypukleń od 0 do +15 dB. Dużych różnic tu nie ma, jeśli w ogóle jakieś występują. W takim razie po co w ogóle są filtry FIR typu „shelf“? Użytkownicy systemów liniowych („line array“) szybko udzielą odpowiedzi:

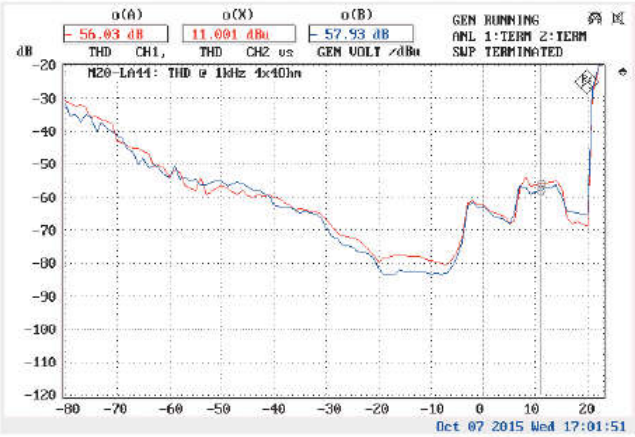


Charakterystyki fazowe *filtrów typu „high shelf" na czerwono, pomarańczowo, zielono i granatowo dla wariantu IIR; filtry FIR typu „shelf" mają niezależnie od ustawienia liniowy przebieg fazy i się pokrywają*

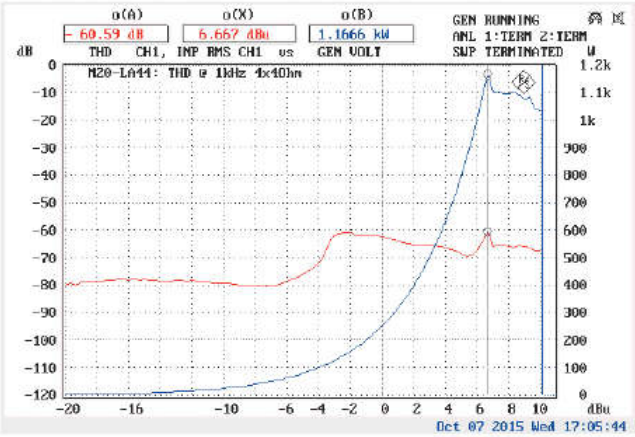
Jeśli system liniowy ("line array") jest coraz bardziej zakrzywiony na dolnych modułach (kształt J albo wycinka spirali), wówczas dla elementów wiszących wyżej potrzebne jest inne filtrowanie w zakresie wysokotonowym niż na niskich tonach. Zazwyczaj stosuje się w tym celu filtry typu „high shelf". Można sobie np. wyobrazić, że system liniowy z 16 modułami użytkowany jest w czterech blokach po cztery paczki każdy, a te mają być korygowane różnymi filtrami typu „shelf". Jeśli są one wykonane jako filtry IIR, wówczas różne filtry typu „shelf", niezależnie od tego, czy różnią się tylko wzmocnieniem („gain") lub tylko częstotliwością lub obydwoma parametrami, pociągnęłyby za sobą także różne charakterystyki fazowe. Spójny front czołowy z systemu liniowego zostałby tym samym zaburzony, a zasada działania osłabiona.

Rysunek powyżej przedstawia charakterystyki fazowe dla przedstawionych wcześniej krzywych amplitudy. Tylko w przypadku filtrów IIR typu „shelf" występują różnice w fazie. Filtry FIR typu „shelf" wszystkie się pokrywają, dzięki czemu zachowana zostaje spójność w czole fali systemu liniowego, a zmienia się jedynie, zgodnie z oczekiwaniami, natężenie.

Pomiary zniekształceń 44M20 zostały przeprowadzone przy obciążeniu 4Ω na wszystkich czterech wyjściach, przedstawione zostały jednak każdorazowo tylko dwa kanały. Krzywe THD z Rys. 5 mieszczą się w zakresie wielkości ponad -80 dB i także po zastosowaniu limitera wzrastają niewiele ponad -60 dB. Dopiero powyżej +20 dBu rozpoczyna się rzeczywiste ścinanie sygnałów, gdy analogowy stopień wyjściowy bądź przetwornik analogowo-cyfrowy zostanie przesterowany. Na powiększonym przedstawieniu z dodatkową charakterystyką mocy na Rys. 4 próg zastosowania dla limiterów można dostrzec przy mocy ok. 1100 W na kanał. Wartość ta zależnie od rodzaju pomiaru i długości sygnału może ulegać wahaniom, a zatem nie da się jej precyzyjnie porównać z wartościami z wykresów mocy.



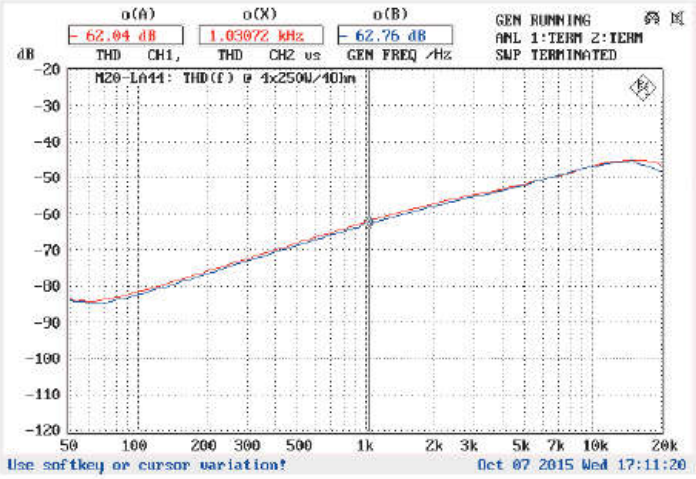
Współczynnik zawartości harmonicznych (THD) *przy 1kHz i obciążeniu 4x4Ω (CH1 czerwony, CH2 niebieski) w zależności od poziomu na wejściu (oś x) (Rys. 4)*



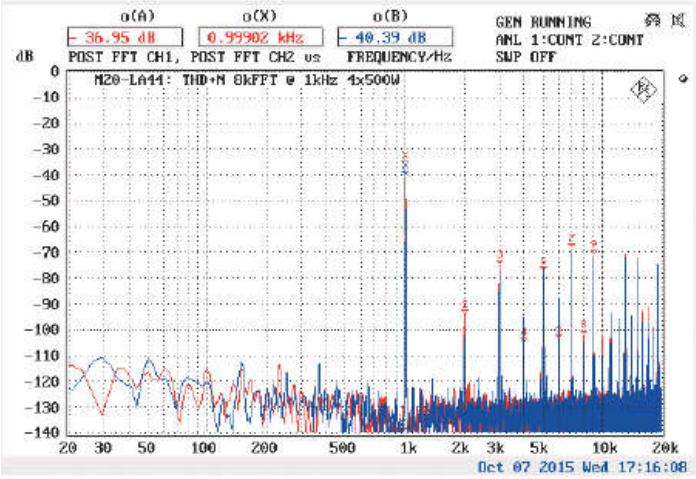
Współczynnik zawartości harmonicznych (THD) *przy 1kHz i obciążeniu 4x4Ω w zależności od poziomu na wejściu, przedstawiono THD (czerwony) i moc (niebieski) na kanał (Rys. 5)*

Dotychczasowe pomiary odnosiły się do sygnałów sinusoidalnych przy częstotliwości 1kHz. Rys.5 przedstawia następnie krzywą wartości THD w zależności od częstotliwości przy stałym poziomie. Dla odpowiednio stałej mocy wynoszącej 250W w analizie na osi częstotliwości potwierdzają się wartości 1kHz z Rys.4 dla 250W przy -62dB. Przy niskich częstotliwościach wartości zniekształcenia wynoszą poniżej -80 dB i zaczynają następnie rosnąć ok. 20dB na dekadę.

Akustycznie ważniejsze powinno być widmo zniekształceń nieliniowych, które dla dwóch spośród czterech kanałów przedstawiono na Rys.6 dla mocy wyjściowej 500 W. Dominują nieparzyste komponenty i występuje lekko rosnąca tendencja w kierunku wyższych rzędów. Jednak wszystkie inne komponenty zniekształceń liniowych mieszczą się poniżej -70 dB, co odpowiada 0,03 % i nieco relatywizuje znaczenie samej tej kwestii. W specyfikacji podano jako typową wartość THD 0,05 %, co odpowiada -66 dB.

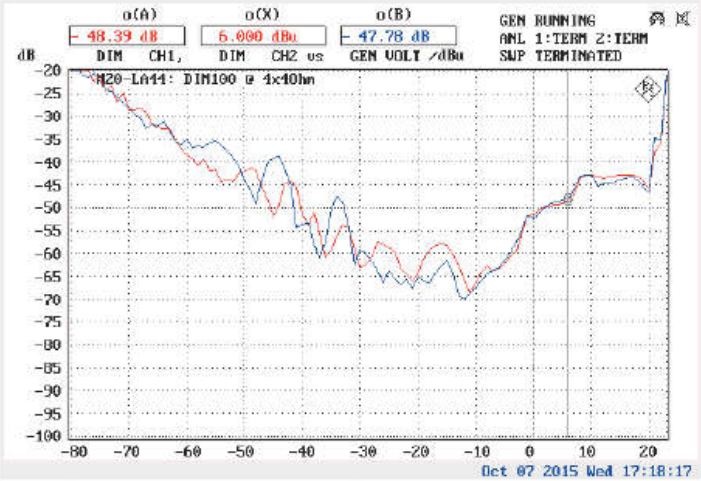


Współczynnik zawartości harmonicznych (THD) *przy obciążeniu 4x4Ω (CH1 czerwony, CH2 niebieski) w zależności od częstotliwości przy mocy 4x250W na 4Ω (Rys. 6)*



Współczynnik zawartości harmonicznych (THD+N) *przy 1kHz i obciążeniu 4x4Ω (CH1 czerwony, CH2 niebieski) przy mocy 4x500W na 4Ω (Rys. 7)*

Ostatnia krzywa dotycząca tego zagadnienia dotyczy zniekształceń intermodulacyjnych o przebiegu przejściowym na Rys.7. Przy -70 dB osiąga się solidne minimum. Aż do granicy ścinania sygnałów wartości wzrastają jednak już do -48dB.



Zniekształcenia intermodulacyjne DIM100 *na obciążeniu 4x4Ω (Rys. 8)*

Limiter: optymalna kontrola mocy i zabezpieczenie systemu

Limitery w obrębie kontrolera systemu głośnikowego nasuwają wiele pytań. Często występują tylko limitery zdefiniowane jako ograniczniki szczytów, które następnie – jeśli dają się prawidłowo ustawić – zapobiegają ścinaniu stopni wyjściowych (CLIP). To jednak za mało, aby zapewnić rozbudowaną ochronę głośników. Dlatego po pierwsze należy zadać sobie pytanie: co złego może się wydarzyć?

- Stopień wyjściowy może przesterować. Twarde ścięcie sygnału spowoduje nie tylko nieprzyjemne odkształcenie dźwięku, wiele komponentów zniekształcenia w sygnale może doprowadzić także do

przeciążenia i zniszczenia głośników wysokotonowych i elementów zwrotnicy.

- Głośnik może zostać uszkodzony mechanicznie przez zbyt wysokie piki napięcia. Oznaką tego może być zerwanie cewki drgającej lub także pęknięcia w membranie. Ryzyko to występuje zarówno przy głośnikach niskotonowych, jak i przy wysokotonowych, i w pierwszym rzędzie wynika ze zbyt wysokiego oddziaływania siły począwszy od cewki drgającej.
- W przypadku głośników niskotonowych występuje dodatkowo niebezpieczeństwo uderzenia cewki drgającej o płytę nabiegunnika. Wychylenie w znacznym stopniu zależy od częstotliwości i konstrukcji obudowy.
- Głośnik może zostać przeciążony termicznie i przepalić się. Proces nagrzewania cewki drgającej następuje na kilku odcinkach o dość różnych stałych czasowych.

Podsumowując powyższe dochodzi się do wniosku, że potrzebny będzie ogranicznik szczytów, który ukierunkowany jest albo na końcówkę mocy, albo na głośnik, zależnie od tego, kto pierwszy osiągnie swoje granice, ogranicznik termiczny o długiej stałej czasowej lub lepiej o jeszcze kilku stałych czasowych oraz ogranicznik wychylenia. Większość stopni wyjściowych (tak jak i 44M20) już same w sobie dysponują wielokrotnym limiterem do ochrony przed ścinaniem, zbyt wysokimi prądami wyjściowymi lub przed przeciążeniem zasilacza lub także zasilania sieciowego, dzięki czemu przy ustawieniach limitera z reguły można skoncentrować się nad zabezpieczeniem podłączonych głośników. Jeśli ma się do dyspozycji tylko jeden limiter, sprawa robi się trudna, ponieważ nie da się przy jego pomocy uchronić przed wszystkimi przypadkami przeciążenia: albo ustawia się limiter z krótkim atakiem na wartość szczytową, albo z długą stałą czasową na maksymalną wartość termiczną głośnika. Najczęściej jednak zakres regulacji stałej czasowej w tym miejscu nie wystarcza, co sprawia, że pozostaje ogranicznik szczytów.

Dzięki wieloletniemu doświadczeniu Linea Research zna się dobrze na kontrolerach głośników, dlatego bezpośrednio na wyjście przewidziane są trzy limitery dla ochrony głośników. Jest to ogranicznik szczytów z dodatkowo możliwym do zdefiniowania overshoot'em, ogranicznik termiczny ze stałymi czasowymi do ośmiu minut, a także dodatkowo ogranicznik wychylenia dla głośników niskotonowych. Dla tego ostatniego maksymalne napięcie wyjściowe ustawia się wraz z częstotliwością maksymalnego wychylenia. Konstruktorzy głośników znają powyższe wartości i mogą dokonywać odpowiednich ustawień. Alternatywnie do programu symulującego konstrukcję zestawów głośnikowych można wprowadzić dane, koncepcję obudowy oraz pojemność obudowy, gdzie następnie pojawi się krzywa dla wychylenia lub możliwego do osiągnięcia poziomu maksymalnego. W przypadku klasycznych obudów rezonansowych częstotliwość maksymalnego wychylenia membrany leży typowo ok. pół do jednej oktawy powyżej częstotliwości strojenia. Dla ogranicznika szczytów istnieje dodatkowo także możliwość podziału na dwa pasma częstotliwości, gdy mają zostać ustawione różne wartości limitowania dla głośników wysoko- i niskotonowych w pasywnie podzielonym systemie 2-kanałowym. Przy ustawianiu ogranicznika termicznego zaleca się postępowanie raczej konserwatywne, ponieważ ogranicznik ten z reguły musi reagować jedynie w przypadkach naprawdę awaryjnych, takich jak sprzężenie zwrotne lub trwałe przeciążenie, a sytuacja rzeczywiście staje się poważna. Dobrym punktem orientacyjnym dla ogranicznika termicznego jest wartość „2 godziny mocy średniej" (average power) według AES. Dla limitera szczytowego w odniesieniu do sygnału testowego o współczynniku szczytu 6dB jako pierwszy punkt orientacyjny można zastosować wartość czterokrotną. Wcześniej należy jeszcze sprawdzić, czy ustawienie Limitera odnosi się do rzeczywistych wartości szczytowych napięcia wyjściowego czy też krótkoterminowej wartości skutecznej.

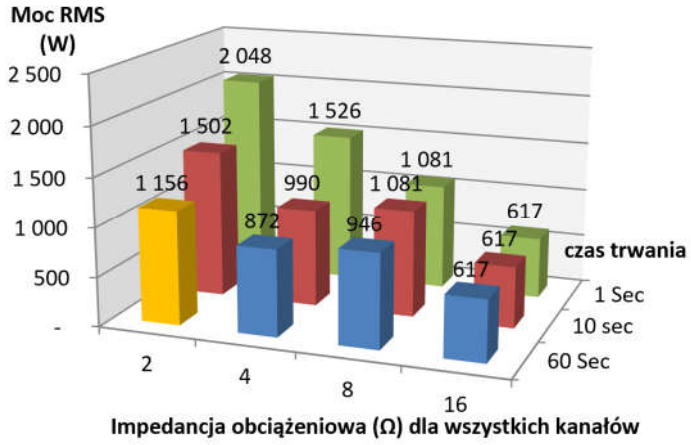
Wartości mocy

W przypadku mocy deklarowanej dla wzmacniaczy łatwo wkrada się zamieszanie, ponieważ pomiar wykonywany jest różnymi sygnałami testowymi zależnie od producenta. Decydującą wartość stanowi współczynnik szczytu (crest factor) sygnału testowego (poziom szczytowy względem wartości skutecznej RMS). Dla sygnału sinusoidalnego wartość ta wynosi 3dB, dla typowego sygnału EIAJ 8/32 (sygnał 8ms burst co 40ms) wynosi 10dB, a w przypadku również bardzo popularnego sygnału wg CEA-2006 (20ms burst przy impulsach +20dB w odstępach 490ms) wynosi 16dB. Zatem zależnie od wybranego sygnału ustalane w ten sposób wartości mocy mogą się bardzo różnić. Jeśli chodzi o Linea Research wartości te, co należy pochwalić, podawane są całkowicie jednoznacznie za pomocą współczynników szczytu sygnałów testowych.

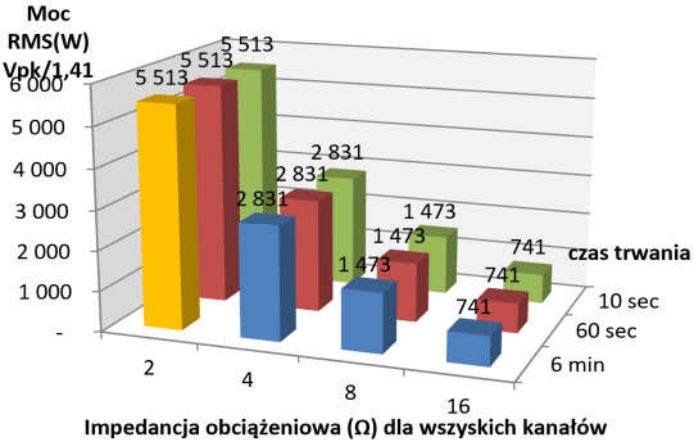
Model	44 seria M20
Specyfikacja mocy	Moc wyjściowa RMS na kanał przy znamionowej temp. otoczenia
Współcz. szczytu CF 4 (12dB), obciążenie znamionowe 2 Ω:	5000W
Współcz. szczytu CF 2,8 (9dB), obciążenie znamionowe 4 Ω:	3000W
Współcz. szczytu CF 2 (6dB), obciążenie znamionowe 8 Ω:	1500W

Parametry mocy *w specyfikacji producenta o różnych wartościach współczynnika szczytu sygnału (Rys. 9)*

1.500W na 8Ω przy 6dB współczynnika szczytu oznacza 750W mocy RMS lub tzw. mocy średniej („average power“). 5.000W na 2Ω przy 12dB współczynnika szczytu oznacza 625W mocy średniej, podobnie jak 3.000W na 4Ω przy 9dB współczynnika szczytu. W naszych testach laboratoryjnych wartości mocy ustalane są dla sygnałów sinusoidalnych, dla szumu o współczynniku szczytu 12dB i dla różnych sygnałów burst. Najpierw mierzone jest zawsze napięcie szczytowe jako V_s i na tej podstawie wyznaczana jest moc w oparciu o sygnał sinusoidalny. Oznacza to, że wartość napięcia szczytowego dzielona jest przez 1,414 i w ten sposób wykorzystywana do obliczenia mocy. Jeśli pomiar dokonywany jest przy stałym sygnale sinusoidalnym, wówczas zasadniczo jest to równocześnie także wartość RMS. Dla różnych pomiarów burst, które również opierają się na sygnałach sinusoidalnych, otrzymuje się na tej podstawie swego rodzaju wartość krótkoterminową mocy RMS dla momentu burst, który np. przy pomiarze sygnału EIAJ 8/32 ma długość 8ms. Nieco trudniejsza sprawa staje się przy sygnałach szumu o różnych współczynnikach szczytu, gdzie nie występuje już sinusoidalny sygnał pomiarowy. Dokładnie rzecz ujmując byłyby tu dwie możliwości określenia mocy: albo jako moc szczytowa bezpośrednio obliczona z napięcia szczytowego lub jako wartość mocy RMS z wartości skutecznej napięcia. Obie wartości nie nadawałyby się jednak do bezpośredniego porównania z wynikami pomiarów sygnału sinusoidalnego. Dlatego korzysta się tu z nieco nietypowej metody pomiaru szczytowej wartości napięcia i wyprowadzenia z niej mocy w sposób porównywalny do sygnału sinusoidalnego.

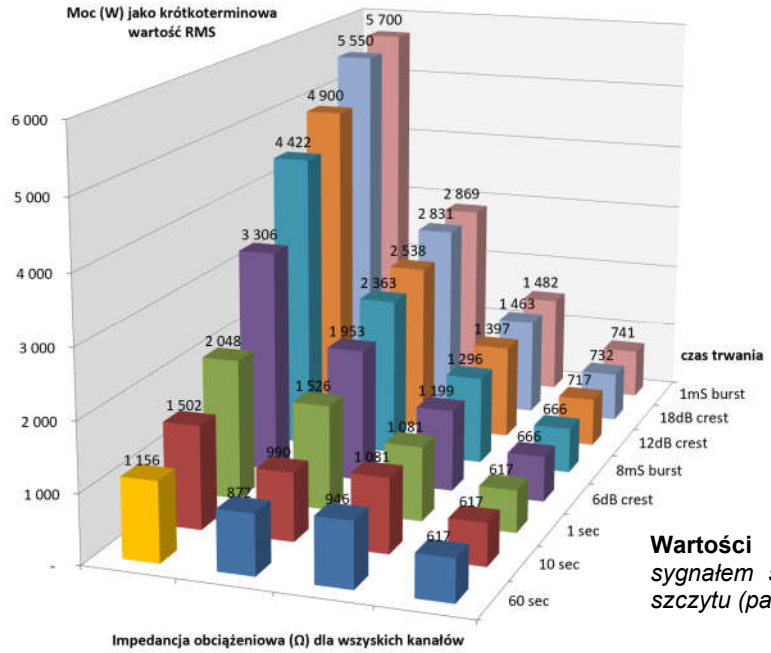


Wartości mocy *przy jednoczesnym obciążaniu wszystkich kanałów i pomiarze ze stale podawanym sygnałem sinusoidalnym (podane moce jako wartości RMS)(Rys.10)*



Wartości mocy *przy jednoczesnym obciążaniu wszystkich kanałów i pomiarze z szumem o współczynniku szczytu 12dB (podane moce jako wartości RMS) (Rys.11)*

Pomiary z podawanymi stale sygnałami sinusoidalnymi z Rys.10 pokazują, jaka wartość stanowi długoterminowo moc RMS i są to ok. 1.000W na kanał, przy założeniu współpracy ze strony zasilania sieciowego. Dla sygnałów o współczynniku szczytu 12dB uzyskiwane są wartości zgodnie z Rys.11. Przy każdym podzieleniu na pół impedancji od 16Ω poprzez 8Ω i 4Ω aż po 2Ω, w imponujący sposób podwojeniu podlega konsekwentnie moc. Przy 5,5 kW na 2Ω dla sygnału o współczynniku szczytu 12dB moc RMS wynosi 690W, co powoduje, że wprawdzie ledwo, ale jednak możliwa jest praca na pojedynczej fazie 16A.



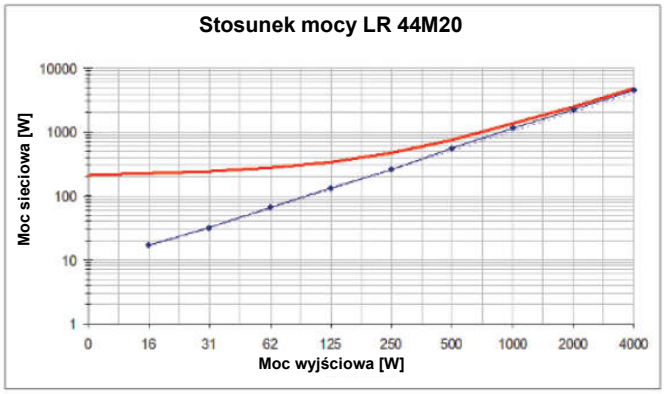
Wartości mocy *przy jednoczesnym obciążeniu wszystkich kanałów sygnałem sinusoidalnym i sygnałami burst o różnych współczynnikach szczytu (parametry mocy jako krótkoterminowe wartości RMS) (Rys. 12)*

Sprawność

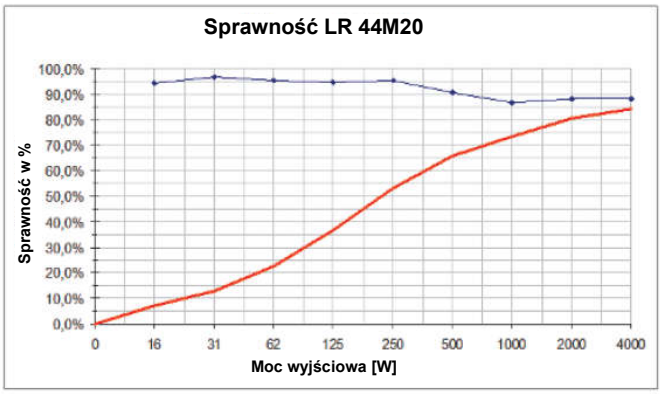
W przypadku wzmacniaczy o mocy takiej jak 44M20 istotnym zagadnieniem są generowane straty. Z jednej strony chodzi oczywiście generalnie o temat zużycia energii, lecz także o obciążenie sieci elektrycznej bądź generatorów, a także w przypadku samego stopnia wyjściowego o to, jak w gęsto upakowanej obudowie 2U można skutecznie odprowadzać wydzielane ciepło. Niezależnie od tego, który aspekt jest najważniejszy: wszystko sprowadza się do zasadniczej kwestii sprawności. Jeśli przeanalizujemy 44M20 pod tym kątem, w pierwszej kolejności można zmierzyć kilka zasadniczych parametrów mocy po stronie sieci:

Tryb uśpienia:	4 W
Tryb czuwania:	55 W
Brak sygnału:	200 W
Maks. moc 12dB CF i 4x4 Ohm:	2.000 W
Maks. moc sinusoidalna:	4.280 W

Przedostatnia wartość 2.000 W stanowi pobór mocy, gdy stopień wyjściowy jest w pełni wysterowany sygnałem o współczynniku szczytu 12dB. Jeśli odjąć od tego 200 W obciążenia podstawowego, a pozostałą wartość 1.800 W zestawi się z podaną mocą 1.415 W, wówczas otrzymuje się sprawność wynoszącą prawie 80%.



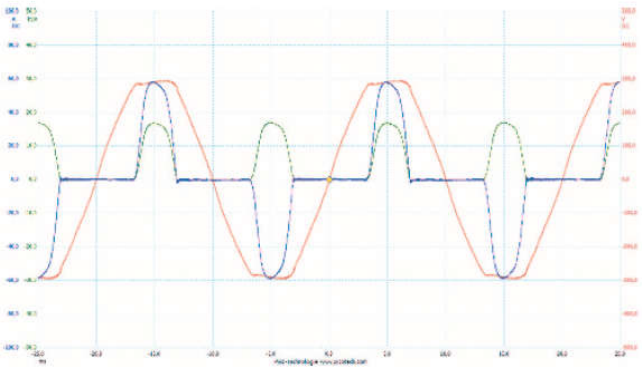
Stosunek mocy *Moc oddawana (oś x) w stosunku do mocy pobieranej (oś y) jako krzywa czerwona, niebieska - wartości z odliczeniem obciążenia podstawowego 200W, które generuje stopień wyjściowy, różowa – krzywa idealna dla sprawności 100% (Rys.13)*



Sprawność wzmacniacza w % *w zależności od oddawanej mocy (oś x). W kolorze niebieskim krzywa bez obciążenia podstawowego, która pozwala dostrzec bardzo dobrą sprawność końcówek mocy (Rys.14)*

Szczegółowe wykresy przedstawiają Rys.13 i Rys.14. Istotnymi wartościami oprócz obciążenia podstawowego są sprawność i wartość skuteczna oddawanej mocy. Sprawność zależnie od koncepcji połączeń może z kolei mniej lub bardziej zależeć od wysterowania zasilacza lub także od postaci sygnału. Czerwona krzywa na Rys.13 przedstawia zależność zgodnie z serią pomiarów pomiędzy wartością sumaryczną oddawanej mocy skutecznej wszystkich czterech kanałów (oś x) i mocą pobraną z sieci elektrycznej (oś y). Jeśli nie jest oddawana żadna moc wyjściowa, wówczas można odczytać obciążenie podstawowe wynoszące 200W. Niebieska krzywa wynika z pobranej mocy sieciowej z odliczeniem obciążenia podstawowego. Krzywa różowa służy do porównania i byłaby idealną charakterystyką dla sprawności 100%, gdyby oddawana moc była równa mocy pobranej.

Alternatywne przedstawienie pokazano na Rys.14, gdzie na osi y naniesiono sprawność. Ze względu na obciążenie podstawowe sprawność przy małych mocach wyjściowych wypada odpowiednio niekorzystnie. Interesująca jest zatem niebieska krzywa, która powstaje, gdy nie uwzględni się obciążenia podstawowego przy obliczaniu sprawności. Wartości wypadają tu nieco lepiej, niż w małym przykładzie obliczeniowym dla pełnego wysterowania o współczynniku szczytu 12dB. Różnicę tę uzasadnia fakt, że pomiary do wykresów nastąpiły przy sygnałach sinusoidalnych, a wartość pomiarowa z szumem o współczynniku szczytu 12dB.



Pobór mocy *(zielony) obliczony z przebiegu napięcia sieciowego (czerwony) i prądu sieciowego (niebieski) przy wartości RMS 5.980 VA, PFC nie występuje (Rys.15)*

Ostatnia grafika na Rys.15 pokazuje charakterystykę napięcia sieciowego wraz z prądem pobranym przed stopniami wyjściowymi i mocą pozorną. Jak widać z przebiegu prądu nie ma niestety PFC (Power Factor Correction). Podczas tego pomiaru dostarczono 4x900 W do oporników pomiarowych. Pobrana moc czynna wynosiła 4.280 W, a moc bierna 4.160 VA, z czego obliczono współczynnik mocy 0,72. Stosunkowo wysoka moc bierna powstaje tu nie poprzez moc bierną przesunięcia (pojemnościowo lub indukcyjnie), lecz niemal wyłącznie przez moc bierną zniekształcenia. Przebieg prądu w porównaniu z harmoniczną podstawową 50Hz ma bardzo wysoki udział fal harmonicznych i PFC w zasilaczu pozwoliłaby to właśnie skompensować.
Odpowiedni artykuł napisany przez Bena Vera na ten temat i odpowiedź dlaczego LR nie stosuje PFC znajdziecie w sekcji „white papers" na stronie WWW Linea Research lub klikając tutaj: https://linea-research.co.uk/wp-content/uploads/LR%20Download%20Assets/Tech%20Docs/PFC%20-%20Lineas%20position%20-01a.pdf

Podsumowanie

Prezentując nową serię M renomowany angielski producent Linea Research wprowadza na rynek sześć nowych modeli stopni wyjściowych, których pod wieloma względami nie należy lekceważyć: zintegrowane systemy DSP oferują duży zakres funkcji o wielu bardzo dobrze przemyślanych i przydatnych na co dzień zastosowaniach. Istnieje możliwość zintegrowania złącza Dante, a obsługa za pomocą oprogramowania System Engineer jest intuicyjna. Parametry mocy przetestowanego tu modelu LR44-M20 są ponadto niezwykle imponujące. Stopień wyjściowy jest przy tym tak zaprojektowany, że aż do 2Ω możliwe jest uzyskanie optymalnego obciążenia. Dobre wrażenie potęguje duża ilość przemyślanych funkcji dodatkowych, jak np. protokołowanie stanu termicznego, prądu sieciowego a także impedancji obciążeniowej wyjść. Ponadto jest jeszcze wiele dalszych szczegółów, które wykroczyłyby poza ramy nawet tak już obszernego opracowania.

Cena LR44-M20 wynosząca 6.450 € jako proponowana cena sprzedaży jest całkowicie uzasadniona, jeśli wziąć pod uwagę oferowane funkcje i parametry mocy. Nie bez znaczenia jest także słuszność stwierdzenia zamieszczonego w dokumentacji wzmacniacza "When you choose Linea you will be working with people who design the products, people who use the products and above all, people who know pro audio" (Wybierając Linea, współpracujesz z osobami, które projektują produkty, korzystają z produktów, a przede wszystkim znają się na dźwięku jak nikt inny): urządzenia nie tylko są w całości projektowane w Anglii, lecz także tam produkowane.

Główne parametry			
Moc	**Sinus**	**12 dB**	**Wartość szczytowa**
4 Ω / 4 kanały	**10 s**	**CF 60s**	**1 ms**
w W na kanał	990	2.831	2.869
Szum	**dBu**		**dBu(A)**
analog./cyfr.	-62,4/-65,5		-65/-68
Dynamika	**dB**		**dB(A)**
analog./cyfr.	105/108		108/111
f[Hz]	**20Hz**	**1kHz**	**20kHz**
Wzmocnienie (gain) dB	32,2	32,3	31,3
Faza °	+60	0	-18
Filtr górnoprzepustowy		7Hz	
Filtr dolnoprzepustowy		30 kHz	
f[Hz]	**100Hz**	**1kHz**	**10kHz**
CTC dB Ch1->Ch2	95	80	45
CMRR dB	78	78	72
DF wzgl. 4 Ω	250	220	15
THD(f) @			
25 % mocy	-82	-62	-47
	min.		**przed CLP**
THD 1kHz	-80		-68
DIM100	-70		-48
SMPTE 60/7k	-70		-40
DFD IEC268	-100		-90
Pobór mocy	bez PFC		
Tryb uspienia	4 W		
Tryb czuwania	55 W		
Brak sygnału	200 W		
Moc maksymalna	2.000 W @ 4 x 4 Ω przy współczynniku CF 12dB		
Waga w kg	12,5		
Moc/waga	906 W/kg		
Propon. cena sprzed. netto + VAT	LR44-M20: 6.450 €		
	Złącze Dante: 675 €		
Nr seryjny	0AD1458-03-80		
Zasilacz	Zasilacz impulsowy HF		
Układ połączeń	Klasa-D		
Zdalne oprogramowanie	**System Engineer**		

Pomiar wszystkich mocy przy obciążeniu 4-kanałowym, moc/waga na 4Ω dla wszystkich kanałów sumarycznie przy współczynniku szczytu 12dB. Dynamika obliczona z mocy szczytowej i poziomu szumu. CTC = przesłuch przy 10W, CMRR = tłumienie napięć równoległych, DF=współczynnik tłumienia w odniesieniu do 4Ω